

DOCKET NO.: 263098US 2X PCT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Lea DI CIOCCIO, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HERewith

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/FR03/02225

INTERNATIONAL FILING DATE: July 15, 2003

FOR: METHOD FOR TRANSFERRING AN ELECTRICALLY ACTIVE THIN FILM

REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION

Commissioner for Patents
Alexandria, Virginia 22313


Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NO</u>	<u>DAY/MONTH/YEAR</u>
France	02 09118	18 July 2002

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. PCT/FR03/02225. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak
Attorney of Record
Registration No. 24,913
Surinder Sachar
Registration No. 34,423

Customer Number

22850

(703) 413-3000
Fax No. (703) 413-2220
(OSMMN 08/03)

PCT

BREVATOME

Expéditeur : le BUREAU INTERNATIONAL

Destinataire:

14 NOV. 2003

NOTIFICATION RELATIVE
A LA PRESENTATION OU A LA TRANSMISSION
DU DOCUMENT DE PRIORITE

GUERRE, Fabien

BREVATOME

3, rue du Docteur Lancereaux

F-75008 PARIS

FRANCE

(instruction administrative 411 du PCT)

Date d'expédition (jour/mois/année) 04 novembre 2003 (04.11.03)	
Référence du dossier du déposant ou du mandataire B14034.3JL	NOTIFICATION IMPORTANTE
Demande internationale no PCT/FR03/02225	Date du dépôt international (jour/mois/année) 15 juillet 2003 (15.07.03)
Date de publication internationale (jour/mois/année) Pas encore publiée	Date de priorité (jour/mois/année) 18 juillet 2002 (18.07.02)
Déposant COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE etc	

- La date de réception (sauf lorsque les lettres "NR" figurent dans la colonne de droite) par le Bureau international du ou des documents de priorité correspondant à la ou aux demandes énumérées ci-après est notifiée au déposant. Sauf indication contraire consistant en un astérisque figurant à côté d'une date de réception, ou les lettres "NR", dans la colonne de droite, le document de priorité en question a été présenté ou transmis au Bureau international d'une manière conforme à la règle 17.1.a) ou b).
- Ce formulaire met à jour et remplace toute notification relative à la présentation ou à la transmission du document de priorité qui a été envoyée précédemment.
- Un astérisque(*) figurant à côté d'une date de réception dans la colonne de droite signale un document de priorité présenté ou transmis au Bureau international mais de manière non conforme à la règle 17.1.a) ou b). Dans ce cas, l'attention du déposant est appelée sur la règle 17.1.c) qui stipule qu'aucun office désigné ne peut décider de ne pas tenir compte de la revendication de priorité avant d'avoir donné au déposant la possibilité de remettre le document de priorité dans un délai raisonnable en l'espèce.
- Les lettres "NR" figurant dans la colonne de droite signalent un document de priorité que le Bureau international n'a pas reçu ou que le déposant n'a pas demandé à l'office récepteur de préparer et de transmettre au Bureau international, conformément à la règle 17.1.a) ou b), respectivement. Dans ce cas, l'attention du déposant est appelée sur la règle 17.1.c) qui stipule qu'aucun office désigné ne peut décider de ne pas tenir compte de la revendication de priorité avant d'avoir donné au déposant la possibilité de remettre le document de priorité dans un délai raisonnable en l'espèce.

Date de priorité

Demande de priorité n°

Pays, office régional ou
office récepteur selon le PCT

Date de réception du
document de priorité

18 juil 2002 (18.07.02) 02 09118

FR

20 octo 2003 (20.10.03)

Bureau international de l'OMPI
34, chemin des Colombettes
1211 Genève 20, Suisse

Fonctionnaire autorisé:

Olivia TEFY

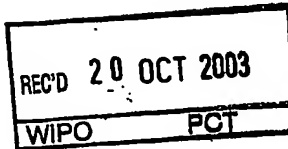
no de télécopieur: (41-22) 338.71.40

no de téléphone: (41-22) 338 8516

Rec'd PCT/PTO 05 JAN 2003

10/519406

REPUBLIQUE FRANCAISE



FR 03 2225

Handwritten signature

BREVET D'INVENTION

FR 03 / 2225

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 03 JUIL. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Handwritten signature of Martine Planche

Martine PLANCHE

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

ETABLISSEMENT PUBLIC NATIONAL

CRÉÉ PAR LA LOI N° 51-444 DU 19 AVRIL 1951

1er dépôt



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

cerfa
N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 260693

REMISE DES PIÈCES DATE 18 JUIL 2002 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0209118 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE 18 JUIL 2002 PAR L'INPI Vos références pour ce dossier <i>(facultatif)</i> B14034.3/JL DD2308/SOITEC		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE BREVATOME 3 rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS	
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> N° _____ Date ____/____/____ <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i> N° _____ Date ____/____/____			
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/> N° _____ Date ____/____/____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE DE TRANSFERT D'UNE COUCHE MINCE ELECTRIQUEMENT ACTIVE.			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input checked="" type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	
Prénoms			
Forme juridique		Etablissement public de caractère Scientifique, Technique et Industriel	
N° SIREN		
Code APE-NAF		
Adresse		31-33 rue de la Fédération	
	Rue		
	Code postal et ville	75752	PARIS 15ème
Pays		FRANCE	
Nationalité		FRANCAISE	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>			
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>			
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			

REMISE DES PIÈCES DATE 18 JUIL 2002 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0209118 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		B14034.3/JL DD2308/SOITEC	
<input checked="" type="checkbox"/> MANDATAIRE			
Nom		LEHU	
Prénom		Jean	
Cabinet ou Société		BREVATOME 422.5/S002	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		7068 du 12.06.98	
Adresse	Rue	3 rue du Docteur Lancereaux	
	Code postal et ville	75008	PARIS
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01.53.83.94.00	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01.45.63.83.33	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		brevets.patents@brevallex.com	
<input checked="" type="checkbox"/> INVENTEUR (S)			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<input checked="" type="checkbox"/> RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<input checked="" type="checkbox"/> RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence)</i> :	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Sulte», indiquez le nombre de pages jointes		1	
<input checked="" type="checkbox"/> SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) J. LEHU 422-5 S/002		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI L. MARIELLO	

1er dépôt



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

cerfa
N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Page suite N° 1.../1..

REMISE DES PIÈCES DATE 18 JUIL 2002 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0209118 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire	
Vos références pour ce dossier (facultatif)		B 14034.3/JL DD 2308 /SOITEC	
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date / / N° Pays ou organisation Date / / N° Pays ou organisation Date / / N°	
5 DEMANDEUR			
Nom ou dénomination sociale		SOITEC	
Prénoms			
Forme juridique			
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	Parc Technologique des Fontaines Bernin	
	Code postal et ville	38926 CROLLES CEDEX	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			
5 DEMANDEUR			
Nom ou dénomination sociale			
Prénoms			
Forme juridique			
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Pays			
Nationalité			
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) J. LEHU		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI L. MARIELLO	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI

PROCEDE DE TRANSFERT D'UNE COUCHE MINCE ELECTRIQUEMENT
ACTIVE

DESCRIPTION

5 DOMAINE TECHNIQUE

L'invention concerne un procédé de transfert d'une couche mince électriquement active depuis un substrat initial vers un substrat cible.

Elle s'applique, en particulier, au
10 transfert d'une couche mince de matériau semi-conducteur et notamment au transfert d'une couche mince de carbure de silicium.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

15 Le document FR-A-2 681 472 (correspondant au brevet américain n°5 374 564) divulgue un procédé de fabrication de films minces de matériau semi-conducteur. Le film mince est d'abord délimité dans un substrat initial par implantation ionique. Une face du
20 substrat est bombardée par des ions (généralement des ions hydrogène) selon une dose et une énergie déterminées pour créer une couche enterrée fragilisée à une profondeur, par rapport à la face bombardée, voisine de la profondeur moyenne de pénétration des
25 ions dans le substrat. La face bombardée du substrat est ensuite solidarisée avec une face d'un substrat de réception ou raidisseur. Un recuit permet alors d'obtenir une séparation du film mince d'avec le reste du substrat initial. On obtient alors un film mince
30 adhérant au raidisseur. Cette technique est maintenant

bien connue et bien maîtrisée. Elle permet l'obtention de substrats SOI de qualité électronique.

Ce procédé a été appliqué après plusieurs adaptations au semi-conducteur carbure de silicium pour
5 obtenir un empilement de couches appelé SiCOI et constitué d'un substrat de silicium recouvert successivement d'une couche d'oxyde de silicium et d'une couche de carbure de silicium. On peut se reporter à ce sujet à l'article "Silicon carbide on
10 insulator formation by the Smart-Cut[®] process" de L. Di Cioccio et al., Materials Science and Engineering B46 (1997), pages 349 à 356.

Dans le cadre de ces développements réalisés sur le substrat SiCOI, le problème de la
15 résistivité électrique de la couche mince de SiC transférée a été étudié.

Les premières couches de SiC transférées sur du silicium oxydé avaient complètement perdu leur caractère conducteur électrique, induit initialement
20 par un dopage approprié, et étaient devenues complètement isolantes. Il a été mis en évidence que la compensation électrique introduite dans les films transférés et responsable de ce caractère isolant acquis, est liée aux défauts d'implantation créés dans
25 le matériau par le passage des protons utilisés pour réaliser l'implantation. On peut se reporter à ce sujet aux articles suivants :

- "Defect Studies in Epitaxial SiC-6H Layers on Insulator (SiCOI)" de E. Hugonnard-Bruyère et
30 al., Microelectronic Engineering 48 (1999), pages 277 à 280 ;

- "High-resistance layers in n-type 4H-silicon carbide by hydrogen ion implantation" de R.K. Nadella et al., Appl. Phys. Lett. 70(7), 17 février 1997, pages 886 à 888 ;

- 5 - "Electrical isolation of GaN by ion implantation damage : Experiment and model" de C. Uzan-Saguy et al., Applied Physics Letters, Vol. 74, N°17, 26 avril 1999, pages 2441 à 2443.

10 La forte dose de protons nécessaires pour obtenir le transfert d'une couche mince de SiC crée, sur tout le parcours de ces ions entre la surface d'implantation et la profondeur moyenne d'implantation des ions, une concentration de défauts d'implantation qui se comportent d'un point de vue électrique comme
15 des centres accepteurs.

 Le dopage initial, de type n obtenu, par exemple, par le dopant azote ou de type p obtenu, par exemple, par le dopant aluminium, des couches minces de SiC étudiées varie entre 10^{19} atomes/cm³ t 10^{15}
20 atomes/cm³. Les couches minces dopées provenaient soit d'une épitaxie, soit du substrat massif lui-même. Un raisonnement simple montre que si la concentration de centres compensateurs résiduels dans la couche mince transférée, introduite par le procédé mis en œuvre, est
25 supérieure au dopage initial (concentration de centres donneurs), la couche mince transférée présente un comportement fortement résistif (voir l'article de E. Hugonnard-Bruyère cité ci-dessus).

 Cette concentration de défauts accepteurs
30 dépend d'une part, de la concentration de défauts d'implantation créée par l'implantation de protons et

d'autre part de la capacité des étapes technologiques appliquées à la couche mince transférée à s'affranchir de ces défauts et diminuer ainsi le plus possible leur concentration.

5 D'un point de vue électronique, une couche mince semi-conductrice comportant des défauts compensateurs ne va pas avoir des propriétés de transport (concentration de porteurs) compatibles avec la fabrication d'un dispositif électronique. Aussi, il
10 est impératif qu'après la réalisation d'une structure SiCOI par le procédé divulgué par le document FR-A-2 681 472, la couche transférée puisse être utilisée pour fabriquer un dispositif électronique.

De nombreuses équipes ont étudié la
15 génération de défauts d'implantation ainsi que les conditions de leur annihilation. Il ressort de ces études que pour le SiC certains défauts d'implantation créés par des ions légers comme l'hydrogène peuvent être stables pour des températures de recuit allant
20 jusqu'à 1500°C même si, pour des dopages supérieurs à 2.10^{18} atomes/cm³, des recuits de l'ordre de 1300°C suffisent pour récupérer la résistivité initiale (voir l'article de E. Hugonnard-Bruyère cité plus haut). Néanmoins, dans ces conditions de fabrication, la
25 compensation électrique résiduelle reste importante. L'article "The effects of damage on hydrogen-implant-induced thin-film separation from bulk silicon carbide" de R.B. Gregory et al., Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 572, 1999, Materials Research Society, pages 33 à 38,
30 divulgue qu'une implantation à haute température permet

de guérir une partie des défauts sans pour autant s'en affranchir complètement.

Il est bien évident que le fait de transférer par cette technique une couche mince de SiC sur un substrat en silicium ne permet pas d'appliquer des traitements thermiques aussi poussés puisque le silicium fond à 1413°C.

Enfin, de façon générale, même si la couche de collage (voire l'absence de couche de collage) et l'utilisation d'un support autre que le silicium (du SiC polycristallin par exemple) permettaient un tel apport thermique, cela ne suffirait pas à récupérer une résistivité correcte, compte tenu de la forte concentration de défauts introduits et de leur stabilité thermique, et ne serait pas souhaitable puisque de telles températures sont peu courantes dans l'industrie microélectronique.

Enfin, l'implantation à haute température est difficile à mettre en œuvre de façon industrielle et ne permet pas de récupérer entièrement la conduction électrique correspondant au dopage initial.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Pour remédier aux inconvénients de l'art antérieur, il est ici proposé un procédé de fabrication permettant d'obtenir une couche de matériau semi-conducteur sur un support avec une compensation électrique résiduelle, due à l'implantation ionique, négligeable.

L'invention a donc pour objet un procédé de transfert d'une couche mince électriquement active

depuis un substrat initial vers un substrat cible, comprenant les étapes suivantes :

- implantation ionique au travers d'une face du substrat initial pour créer une couche enterrée
5 fragilisée à une profondeur déterminée par rapport à la face implantée du substrat initial, une couche mince étant ainsi délimitée entre la face implantée et la couche enterrée,
 - solidarisation de la face implantée du
10 substrat initial sur une face du substrat cible,
 - séparation de la couche mince d'avec le reste du substrat initial au niveau de la couche enterrée,
 - amincissement de la couche mince
15 transférée sur le substrat cible,
- caractérisé en ce que la dose, l'énergie et le courant d'implantation sont choisis, lors de l'étape d'implantation ionique, pour que la concentration en défauts d'implantation soit inférieure à un seuil
20 déterminé conduisant à obtenir dans la couche mince amincie un nombre de défauts accepteurs compatible avec les propriétés électriques désirées pour la couche mince.

L'étape d'implantation ionique peut
25 consister à implanter des ions choisis parmi l'hydrogène et les gaz rares.

L'étape de solidarisation peut mettre en œuvre un collage choisi parmi le collage par adhésion moléculaire via des couches intermédiaires ou sans
30 couches intermédiaires, le collage par réaction, le

collage métallique, la brasure et le collage par diffusion d'espèces.

Avantageusement, un recuit de guérison des défauts d'implantation est réalisé sur la couche mince.

5 Ce recuit de guérison peut être réalisé avant ou après d'amincissement de la couche mince.

Le procédé selon l'invention s'applique notamment à l'obtention d'une couche mince de SiC, de GaAs, de GaN, de diamant ou d'InP sur un substrat
10 cible.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre
15 d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est un diagramme représentant le profil de défauts accepteurs dans un substrat initial implanté,

20 - la figure 2 est un diagramme représentant la concentration de lacunes créées en fonction de la profondeur du substrat initial implanté.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

25 Le nombre de défauts accepteurs dans la couche mince transférée et amincie selon la présente invention dépend du profil de défauts qui est créé dans la couche mince transférée (distribution des défauts selon l'épaisseur de la couche mince). Ce profil de
30 défauts dépend de l'énergie d'implantation. Le choix

des conditions d'implantation (énergie d'implantation, épaisseur du masque d'implantation) est crucial et permet de définir l'épaisseur de la future couche active.

5 Les inventeurs sont arrivés à la conclusion que le profil des défauts électriques compensateurs est proportionnel au profil des défauts d'implantation. Il est donc nécessaire de générer, par le choix des conditions d'implantation, une couche mince qui
10 contient, après implantation, au moins une zone avec un profil de défauts suffisamment plat pour que la concentration finale résiduelle de défauts soit répartie de manière homogène dans la couche devant subsister. Le reste de la couche transférée, dont le
15 profil de défauts n'est plus plat, est éliminé par amincissement.

Le nombre de défauts accepteurs dans la couche mince transférée et amincie selon la présente invention dépend aussi de la concentration de défauts
20 d'implantation créée par l'irradiation de protons. Le paramètre jouant sur la concentration de défauts est la dose d'implantation et le courant d'implantation. Les inventeurs de la présente invention ont constaté que le courant d'implantation permet de jouer sur l'efficacité
25 de création de défauts. Ainsi, implanter à faible densité de courant permet de diminuer la concentration de défauts. L'autre paramètre est la dose d'ions implantés. Il est possible de diminuer de manière significative la dose d'ions implantés dans le substrat
30 initial en réalisant l'implantation à haute température ou en jouant sur l'effet canalisation.

Le nombre de défauts accepteurs dans la couche mince transférée et amincie selon la présente invention dépend enfin de traitements postérieurs (ou de guérison) du type recuits. Pour le carbure de silicium notamment, certains défauts d'implantation créés par des ions légers comme l'hydrogène peuvent être stables pour des températures de recuit allant jusqu'à 1500°C.

Suivant cette approche, le point critique qui apparaît est la définition de la future couche active (c'est-à-dire la couche obtenue après amincissement). Cette couche est entièrement définie par le profil des défauts créés par le passage des ions implantés ainsi que par la capacité guérissante des étapes technologiques postérieures à la fracture du substrat initial.

La figure 1 est un diagramme représentant le profil de défauts accepteurs dans un substrat initial implanté. L'axe des ordonnées représente le nombre N de défauts accepteurs. L'axe des abscisses représente la profondeur z du substrat à partir de la face implantée (abscisse 0). L'abscisse z_1 donne l'épaisseur de la couche mince après amincissement permettant l'obtention d'une couche mince possédant les propriétés électriques désirées.

Une loi empirique liant le profil de défauts électriques persistant dans la couche mince avec le profil de défauts créés lors de l'implantation a pu être établie. Ce profil post-implantation peut être donné, avec une bonne précision, par le logiciel TRIM permettant de simuler la création de défauts

cristallins élémentaires (lacunes de C et de Si dans le cas du carbure de silicium) lors d'une étape d'implantation ionique.

La figure 2 est un diagramme représentant la concentration C de lacunes créées (en atomes/cm³) en fonction de la profondeur z du substrat à partir de la face implantée (abscisse 0). Ce diagramme a été obtenu par simulation à partir du logiciel TRIM pour du carbure de silicium implanté par des ions H⁺ (énergie d'implantation 180 keV, dose d'implantation 6,5.10¹⁶ ions/cm²). Pour une énergie d'implantation de 180 keV, la profondeur moyenne d'implantation R_p est supérieure à 1100 nm.

Des mesures par effet Hall ont été effectuées pour un substrat initial en SiC et pour ces conditions d'implantation. Elles donnent une concentration résiduelle moyenne de défauts accepteurs de 4.10¹⁶ atomes/cm³ pour un film de SiC de 0,5 µm d'épaisseur. La simulation TRIM indique que la concentration de défauts présents dans les 0,5 premiers µm du film implanté est toujours inférieure à 9.10²⁰ atomes/cm³. La concentration de défauts dans cette couche est inférieure, en tout point, à la concentration maximale de 9.10²⁰ atomes/cm³. Cela signifie qu'à l'issue du procédé selon l'invention la concentration finale de défauts résiduels sera toujours inférieure à 9.10²⁰ K. Grâce à la mesure électrique donnant une concentration moyenne dans tout le film, on peut estimer le coefficient K liant les défauts physiques créés et les défauts électriques résiduels:

$$K = 4.10^{16}/9.10^{20} = 4,5.10^{-5}$$

avec la relation $C_f = K.C_i$

C_i est la concentration moyenne de défauts primaires d'implantation et dépend de la façon dont est réalisée l'implantation dans le matériau (c'est-à-dire son profil d'implantation). C_f est la concentration moyenne de défauts finaux électriques dans la couche mince après transfert et recuit. K est un coefficient de proportionnalité lié aux étapes de recuit (guérison des défauts).

Pour une implantation d'hydrogène réalisée sans chauffage intentionnel dans du SiC à travers une couche de SiO₂ inférieure à 50 nm, pour une énergie de 180 keV, une dose de $6,5.10^{16}$ atomes/cm² et un budget thermique maximal à la couche mince transférée de 1350°C pendant 48 heures, le coefficient K est égal à environ $4,5.10^{-5}$. Ceci signifie que le procédé mis en œuvre permet de diminuer d'un facteur $2,25.10^4$ la concentration de défauts créés.

On va maintenant détailler un exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention et permettant d'obtenir une couche mince de SiC transférée d'épaisseur finale inférieure ou égale à 0,5 μm.

Une surface plane d'un substrat initial de SiC monocristallin est polie mécaniquement et mécano-chimiquement. On fait croître par épitaxie une couche mince de SiC au dopage désiré (par exemple 10^{17} atomes d'impuretés/cm³) sur la face polie du substrat. Cette étape n'est nécessaire que si l'on souhaite transférer une couche mince avec un dopage inférieur au dopage résiduel d'un substrat ou possédant une meilleure qualité cristalline. La couche épitaxiée peut recevoir

un polissage mécanique ou mécano-chimique pour obtenir une surface permettant l'adhésion moléculaire. On procède ensuite à une oxydation thermique pour obtenir une couche d'oxyde de 50 nm d'épaisseur. Une variante
5 consiste à déposer un oxyde sur une épaisseur ne dépassant pas 50 nm.

La face oxydée du substrat initial est soumise à une implantation d'hydrogène pour une énergie de 180 keV et une dose de $6,5 \cdot 10^{16}$ atomes/cm² afin de
10 créer une couche fragilisée délimitant la couche mince à transférer. Il est possible de diminuer de manière significative cette dose limite en implantant l'hydrogène à haute température. Par exemple, à une température d'implantation de l'ordre de 650°C, la dose
15 critique passe de $6,5 \cdot 10^{16}$ à environ $4,5 \cdot 10^{16}$ atomes/cm². Cette implantation est réalisée afin de générer sur les 500 premiers nm de la couche de SiC une concentration de défauts simulée inférieure à $9 \cdot 10^{20}$ atomes/cm³.

La surface de l'oxyde implanté est
20 nettoyée, de même que la surface de l'oxyde présent sur le substrat cible. Ces surfaces sont alors activées spécifiquement, par exemple par polissage mécano-chimique. Les surfaces ainsi traitées sont alors collées par adhésion moléculaire.

25 On réalise ensuite le transfert de la couche mince délimitée en provoquant une fracture au sein du substrat initial, au niveau de la zone fragilisée. La fracture peut être obtenue par un traitement thermique adapté.

30 La couche mince transférée sur le substrat cible est recuite à très haute température (1350°C). Un

recuit oxydant permet de consommer par oxydation, de manière contrôlée, la couche mince de SiC, d'exodiffuser l'hydrogène présent dans la couche mince et de guérir les défauts d'implantation. La durée du recuit
5 est prévue pour guérir les défauts d'implantation. Elle peut être de 48 heures.

On procède ensuite à la désoxydation de la couche mince de SiC.

La couche mince est alors amincie par
10 gravure ionique ou par oxydation thermique pour ajuster la couche mince à l'épaisseur voulue (inférieure à 0,5 μm). Cette étape peut être réalisée avant l'étape de recuit à très haute température.

Le procédé selon l'invention peut
15 s'appliquer à tout matériau que l'on veut transférer par le procédé Smart-Cut[®] mais dont la résistivité électrique par la suite pose problème (SiC, GaAs, InP, GaN, diamant par exemple).

D'autres collages que l'adhésion
20 moléculaire via des couches intermédiaires d'oxyde peuvent être utilisés : adhésion moléculaire sans couches intermédiaires, collage par réaction, collage métallique, brasure, collage par diffusion d'espèces. L'implantation ionique peut être réalisée avec d'autres
25 espèces ioniques que l'hydrogène, par exemple l'hélium.

REVENDECATIONS

1. Procédé de transfert d'une couche mince
électriquement active depuis un substrat initial vers
5 un substrat cible, comprenant les étapes suivantes :

- implantation ionique au travers d'une
face du substrat initial pour créer une couche enterrée
fragilisée à une profondeur déterminée par rapport à la
face implantée du substrat initial, une couche mince
10 étant ainsi délimitée entre la face implantée et la
couche enterrée,

- solidarisation de la face implantée du
substrat initial sur une face du substrat cible,

- séparation de la couche mince d'avec le
15 reste du substrat initial au niveau de la couche
enterrée,

- amincissement de la couche mince
transférée sur le substrat cible,
caractérisé en ce que la dose, l'énergie et le courant
20 d'implantation sont choisis, lors de l'étape
d'implantation ionique, pour que la concentration en
défauts d'implantation soit inférieure à un seuil
déterminé conduisant à obtenir dans la couche mince
amincie un nombre de défauts accepteurs compatible avec
25 les propriétés électriques désirées pour la couche
mince.

2. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que l'étape d'implantation ionique
30 consiste à implanter des ions choisis parmi les espèces
suivantes : hydrogène et gaz rares.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape de solidarisation met en œuvre un collage choisi parmi le collage par adhésion
5 moléculaire via des couches intermédiaires ou sans couches intermédiaires, le collage par réaction, le collage métallique, la brasure et le collage par diffusion d'espèces.

10 4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'un recuit de guérison des défauts d'implantation est réalisé sur la couche mince.

15 5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le recuit de guérison est réalisé avant l'étape d'amincissement de la couche mince.

20 6. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le recuit de guérison est réalisé après l'étape d'amincissement de la couche mince.

25 7. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes à l'obtention d'une couche mince de SiC, de GaAs de GaN, de diamant ou d'InP sur un substrat cible.

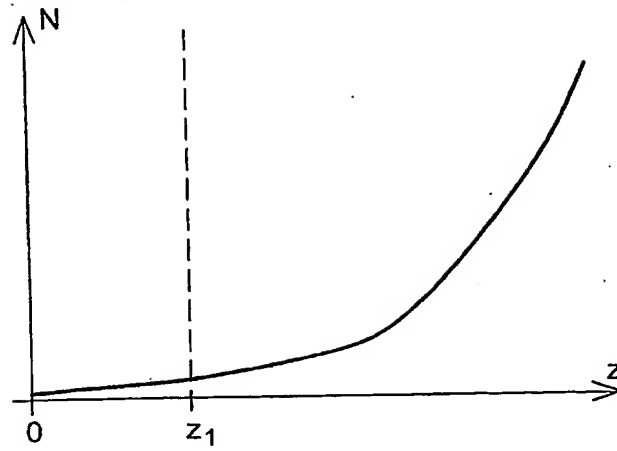


FIG. 1

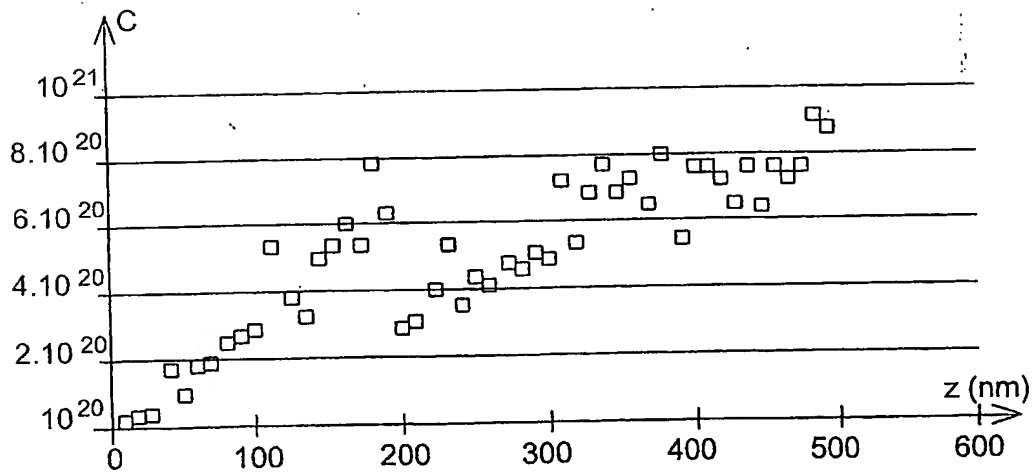


FIG. 2



reçue le 12/08/02

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11235-02

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260399

Vos références pour ce dossier (facultatif)		B14034.3/JL DD2308/SOITEC	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0209118	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE DE TRANSFERT D'UNE COUCHE MINCE ELECTRIQUEMENT ACTIVE.			
LE(S) DEMANDEUR(S) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31/33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème SOITEC Parc Technologique des Fontaines Bernin 38926 CROLLES CEDEX			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		DI CIOCCIO	
Prénoms		Léa	
Adresse	Rue	418 chemin de Labis	
	Code postal et ville	38330	SAINT ISMIER
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		LETERTRE	
Prénoms		Fabrice	
Adresse	Rue	33 quai Jongkind	
	Code postal et ville	38000	GRENOBLE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		HUGONNARD-BRUYERE	
Prénoms		Elsa	
Adresse	Rue	Chemin du Vallon	
	Code postal et ville	13710	FUVEAU
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) PARIS LE 18 Juillet 2002 J. LEHU 422-5/002			

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.